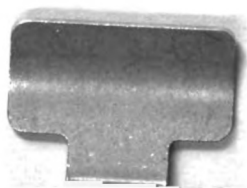
I PONTI MILITARI A CATENARIA ADOTTATI IN INGHILTERRA PER B. DE...

Biagio De Benedictis

I PONTI MILITARI

A CATENARIA

ADOTTATI IN INGHILTERRA

PER

B. DE-BENEDICTIS

CAPITANO DEL GENIO

VOGHERA CARLO
SUCCESSORE G. CASSONE E COMP.
TIPOGRAFO DI S. M.

Firenze, 1870.

I
PONTI MILITARI
A CATENARIA
ADOTTATI IN INGHILTERRA

PER

B. DE-BENEDICTIS

CAPITANO DEL GENIO

VOGHERA CARLO

SUCCESSORE C. CASSONE E COMP.

TIPOGRAFO DI S. M.

Firenze, 1870.

Se è vero che la condizione essenziale pel trionfo di un esercito è la mobilità, è pure verissimo che tra gli ostacoli naturali che possono scemare questa mobilità non ultimo è il passaggio dei fiumi. E non solo dei grandi fiumi, che spesso costituiscono delle linee importantissime da doversi prontamente valicare, ma bene ancora de' piccoli corsi d'acqua, dei canali e dei burroni che, incontrandosi in gran numero in alcune contrade, possono inceppare d'assai le operazioni secondarie di un esercito, quando esso non possegga validi mezzi per superare cotali ostacoli. I paesi rotti e attraversati da molte acque correnti, rendendo assai difficili le manovre, possono togliere grandi vantaggi ad una truppa, come piombare inopinatamente sul fianco del nemico o prevenirlo nell'occupazione di qualche punto importante: possono rendere disastrosa una ritirata quando l'esercito dalla fortuna delle armi sia stato ricacciato su di un terreno frastagliato dalle acque. E forse un ardito e ottimo piano

di guerra va qualche volta a rompersi contro i pericoli che vi sarebbero di avventurare le proprie forze in terreni assai solcati da corsi d'acqua. Da qui la grande importanza che in tutti i tempi e presso tutti gli eserciti si è dato allo studio dei ponti militari, il quale si è sempre arricchito man mano coi trovati e con le applicazioni della scienza, come ce ne offrono un esempio gli svariatissimi sistemi di ponti adoperati nell'ultima guerra d'America.

Se da una parte sono assai gravi gl'impedimenti di un esercito, d'altra parte è indubitato che sarebbe follia il credere di poter eseguire il passaggio dei fiumi abbandonandosi in campagna puramente a quello che alcuni chiamano il *genio della risorsa;* quindi vediamo che da lungo tempo i parchi da ponte sono divenuti compagni inseparabili degli eserciti e li seguono in tutti i loro movimenti. Ma in quanto si è ai piccoli corsi d'acqua difficilmente voi trovate che si voglia sentir a parlare di materiale da ponti, e quasi tutti pretendono che i cosiddetti ponti occasionali si debbano addirittura *improvvisare* in campagna dal genio militare, come se si trattasse di sonetti a rime obbligate. Questa generale opinione si è forse spinta un po' troppo innanzi, senza pensare che ai soli ingegneri che hanno lunga esperienza dell'arte loro si aspetta giudicare quanto sia diverso il delineare dei ponti militari sulla carta dall'eseguirli in campagna, nel breve tempo e coi pochi mezzi che si possono avere in guerra. « Fa duopo non esage-
« rare di troppo il partito che si può trarre in cam-
« pagna da mezzi ignorati e improvvisati. Se noi
« crediamo fare un ponte a furia di tagliare alberi,
« noi andremo più per le lunghe di quel che si tiene;
« imperocchè se il ponte ha da servire almeno al
« passaggio di pedoni, è pur necessario che si abbia

« legname sufficientemente squadrato e per conse-
« guenza apparecchiato da prima (1). »

Nella campagna del 1866 non si mancò fra di noi di provvedere le truppe di piccoli equipaggi da ponte per brevi luci; ed ora vediamo in Inghilterra essersi corredato l'esercito di un leggerissimo materiale da ponti, non pei grandi fiumi, ma per le corde di 30 o 40 metri, il quale può bene seguire le colonne volanti ed essere gittato rapidamente. Intendiamo parlare dei ponti a catenaria di lamine di ferro del sig. Jones, di cui la *Rivista Militare* ha già dato un cenno nella dispensa di agosto 1869 (pag. 285 e seg.). Essi sembrano soddisfare pienamente alle condizioni generali di un buon materiale da ponti occasionali, le quali furono così bene riassunte dall'Haupt nei termini seguenti: « L'elemento per la costruzione dei
« ponti militari occasionali dev'essere semplice, e
« l'ordinamento delle parti che lo compongono tale
« che soldati inesperti in opere meccaniche possano
« intenderne la combinazione e metterne insieme i
« pezzi. È mestieri che l'ordine sia così fatto che
« tutt'i pezzi della medesima specie, come corde, tra-
« verse, tiranti e simili, sieno identici in guisa che
« presone uno da un mucchio si adatti senza osta-
« coli ove dev'essere collocato e funzioni convene-
« volmente. Gli elementi debbono andare ordinati in
« modo da consentire l'opera simultanea di numerose
« braccia, sì che tutte le parti del ponte possano
« progredire contemporaneamente nella loro costru-
« zione. È necessario del pari che ponti di qualsiasi
« lunghezza sieno da prima preparati, senza riguardo
« alle località o alla larghezza del tratto da traver-

---

(1) Marselli. *Il problema militare della difesa nazionale.* Torino, 1867, pag. 308.

« sare, e si sia certi che rispondano senz'alterazione
« allo scopo quando vengono collocati in opera (1). »

I ponti del Jones si avvicinano moltissimo a questo tipo ideale di ponti militari, poi che non consistono in altro che in una serie di catene formate da semplici lamine di ferro larghe 8 centimetri e spesse 1 millimetro, le quali si tendono da una riva all'altra e si affidano a robusti travi orizzontali arrotondati nei loro spigoli e sostenuti ciascuno da due palafitte. Le lamine abbracciano coi loro estremi codesti travi e si ripiegano sopra se stesse, formando come dei cappii, lunghi circa 0^{m} 90, fermati da semplici chiavarde. Su queste lamine-catene si adagiano le tavole del tavolato, che si tengono ferme col solito ghindamento, nè rimane a fare altro che assicurare maggiormente il ponte per mezzo di gomene oblique attaccate ad esso mercè apposite barre (fig. 1, tav. 1) e affidate a punti fissi sulle rive del fiume. Da ciò si vede che l'elemento di questi ponti è semplicissimo, perchè consiste in tante lamine lunghe 1^{m} 90, le quali, occupando poco volume, si possono trasportare in apposite casse. Le lamine si uniscono sopra luogo l'una dopo l'altra, per semplice sovrapposizione con due chiavarde e due madreviti, impiegandovi quante braccia si vuole; cosicchè di questo sistema si può ben dire che « ogni soldato può portar seco il suo « pezzo di ponte, e, giunto sul luogo, darsi coi com« pagni a far sorgere come per incanto belle ed ar« mate le travate ed il tavolato del ponte. » Le operazioni di battere solidamente alcune palafitte, collocare i travi orizzontali di ritenuta sulle due rive e tendere il ponte con alcuni paranchi, sono anch'esse

(1) Marselli. Op. cit., pag. 304.

della maggiore semplicità nè richiedono armature pesanti.

Il tavolato è un elemento costante ne' vari sistemi di ponti e quasi indipendente dalla loro particolare struttura, perchè, qualunque congegnazione si adotti, è chiaro che delle buone tavole sulle impalcate saranno sempre necessarie. Ma anche in questo i ponti del Jones offrono de' particolari vantaggi, perchè in essi « la facoltà di poter avvicinare quanto si vuole le « catene fra di loro permetterà adoperar tavole della « minima grossezza compatibile coi carichi che do- « vranno transitare sul ponte. » Anzi per il passaggio della sola fanteria i ponti del Jones hanno il pregio singolare che si può in certo modo far senza del tavolato propriamente detto, come si vede nella tav. 2ª, fig. 1, avendo l'autore sostituito con successo alle tavole delle lunghe stecche o palicciuoli flessibili di legno intrecciati fra le lamine, il che forma un'intessitura come quella dei graticci, sulla quale si è veduto che la fanteria marcia benissimo, e forse meglio che sul tavolato, perchè le piccole irregolarità della intessitura stessa danno maggiore attrito, come fanno i cordoli che si adoperano nelle rampe. Questo ingegnoso espediente dà ai ponti del Jones quella leggerezza che costituisce il loro lato caratteristico.

Per le descritte ragioni ci è parso che questi ponti sieno una applicazione scientifica pienamente riuscita, la quale meriti di essere studiata; cosicchè, venutaci alle mani la Memoria del sig. Jones (1), ne abbiamo attentamente letta un'accurata traduzione che dobbiamo alla cortesia del capitano del genio Varzi. Codesta Memoria, in cui la sobrietà che gl'In-

---

(1) Inserita nel vol. 13° dell'opera periodica *Papers on subjects ecc. of the Corps of Royal Engineers.*

glesi sogliono portare nei loro scritti spicca un po' troppo, non è che di sette pagine, e consiste in una semplice descrizione dei nove ponti a catenaria sperimentati al poligono di Chatam negli anni 1863-64. La Memoria non contiene nessun calcolo sulla resistenza delle lamine nè sulla fermezza delle loro unioni, e non addita quali coefficienti numerici abbia adottato l'autore per proporzionare le dimensioni delle sue catene. In una parola lo scritto del sig. Jones è fedelmente compendiato dallo specchio che segue a pag. 516-17. Ora siccome trattasi di un sistema nuovo di ponti militari, e siccome noi non siamo famigliari come gl' Inglesi nelle costruzioni in ferro, così abbiamo provato ad applicare il calcolo ai ponti del Jones per farci un criterio della loro resistenza, massime in quanto alle unioni delle lamine consecutive fra di loro, e vedere fino a qual punto e con quali avvertenze essi si possano adoprare. La coincidenza dei risultati del calcolo e delle più comuni teorie di meccanica coi dati sperimentali che si trovano nella Memoria del signor Jones ha fatto crescere ai nostri occhi l' aggiustatezza delle sue idee; di sorta che osiamo pubblicare questo scritto affinchè, se mai i ponti del Jones trovino fra di noi buona accoglienza, sì fatti studi possano essere proseguiti da altri con più frutto e con maggiore dottrina.

Particolari della costruzione dei ponti del Jones.

§ 1. Per far passare le lamine-catene da una riva all'altra si tende una corda affidandola a pali conficcati sulle due rive. Su codesta corda si fa scorrere per mezzo di una fune ordinaria una troclea mobile del diametro di 0^m 10, la quale porta attaccata al suo gancio le catene una per volta.

Per formare agli estremi delle lamine i cappii che abbracciano i travi occorrono delle lamine più solide; quindi per semplicità si potrebbero impiegare le stesse lamine ordinarie di un millimetro di grossezza, e fare ciascun cappio con sei od otto lamine sovrapposte e unite fra loro con le solite chiavarde.

Collocate in opera le palafitte, i travi come *a b*, che diconsi *di ritenuta* (fig. 2), e le catene, si colloca il trave *di tensione t t* parallelo al precedente, posto dietro di esso a conveniente distanza e similmente rattenuto da due palafitte o, se è possibile, da grossi alberi, da scogli o altro. I paranchi *p*, *p*, *p* sono fermati su questi due travi, e il capo di fune libero di ciascuno è afferrato dagli uomini quando si esegue la manovra di tendere il ponte onde acquisti quella saetta che si vuole.

Teso il ponte, è naturale che il trave di ritenuta *a b* viene a scostarsi più o meno dalle sue palafitte *m* ed *n*; quindi la necessità d'introdurre fra il trave e le palafitte dei forti cunei di legno *c*, *c*, che si battono più o meno, secondo che sarà necessario. Le travi di tensione ed i paranchi si debbono impiegare su entrambe le rive, ma per le piccole luci di pochi metri basterebbe adoprarli su una riva sola.

Le gomene oblique intese ad impedire le oscillazioni del ponte nel senso della sua larghezza, le quali nascono sia a causa di venti impetuosi, sia quando la marcia della truppa prendesse una cadenza regolare, si potrebbero anche fare, per maggiore uniformità di materiale, con le stesse lamine del Jones, che con piccoli paranchi si tendono quanto si vuole.

Ecco frattanto lo specchio dei ponti a catenaria del Jones sperimentati al poligono del genio di Chatam, il quale specchio, come dicevamo, è il riassunto della Memoria dell'inventore.

Specchio dei ponti a catenaria del Jones,

N° d'ord. dei ponti	N° delle catene	N° delle lamine	N° delle chiavarde	Luce del ponte	Larghezza del ponte	PESO delle catene	PESO dei tavolati	SAETTA	Tempo occorso per gettare il ponte	N° dei sott'ufficiali impiegati	N° dei soldati impiegati
				Metri	Metri	Chilog.	Chilog.	Metri	Ore		
1	8	864	448	39, 00	2, 40	1009	1163	1, 37	6	1	48
2	6	648	336	39, 00	2, 40	758	1163	1, 37	6	1	36
3	8	672	352	30, 48	2, 40	784	1513	1, 30	6	2	32
4	4	208	112	19, 80	2, 40	239	916	0, 60	6	1	16
5	4	432	242	39, 60	2, 40	506	1371	1, 37	6	1	24
6	8	896	468	40, 20	2, 40	1046	1754	1, 50	6	1	48
7	26	546	1144	30, 48	2, 24	687	100	1, 30	6	1	32
8	6	264	144	14, 00	2, 40	308	757	0, 45	$1/2$ e 7'	1	17
9	10	175	manca	19, 80	0, 84	225	32	manca	2	1	20

sperimentati dal genio militare inglese a Chatam.

ANNOTAZIONI
Ciascuna catena era formata con quattro lamine sovrapposte. Il tavolato fu fatto con 95 tavole ordinarie da ponte le quali furono ghindate per 4 con le corde comuni. Prima del passaggio degli uomini la saetta del ponte era 1m,37 e dopo il passaggio divenne 1m,70; ma, dice il Jones, che tale aumento si deve alla natura del terreno che era assai cedevole verso le sponde. Il numero massimo di soldati disarmati che passarono su questo ponte a passo lento per 4 fu di 70; e il loro peso totale, riportato dal Jones, era 4760 chilogrammi; il che darebbe 68 chilogrammi precisi per individuo. I travi di ritenuta sulle rive erano del diametro di 0m,19 e della lunghezza di 3m,96. Ciascuno era sostenuto da 2 sole palafitte di dimensioni varie, come si poterono ritrovare.
Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Non si usarono le solite gomene di ritenuta nè le tavole del tavolato furono ghindate. Il massimo numero di uomini disarmati che transitarono sul ponte per 4 fu di 60; e il loro peso, riportato dal Jones, era di chilogrammi 4080; sempre computando 68 chilogrammi per uomo.
Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Le otto catene si collocarono in opera in 16 minuti.
Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Il massimo numero d'uomini che passò sul ponte per 4 fu di 56 e il loro peso totale sarebbe di 3803 chilogrammi. Sotto questo carico uno dei travi di ritenuta del ponte si spezzò.
Questo ponte fu costruito in prosieguo di quello N° 4 cioè portandone la corda da 19m,80 a 39m.60. Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Il numero massimo di soldati che si fecero transitare simultaneamente sul ponte fu di 51; ma sotto questo carico le catene si spezzarono in quella parte di 19m,80 di ponte che era stata, come si è detto, cimentata e che probabilmente aveva sofferto per la rottura del trave di ritenuta. I 51 soldati trovasi notato dal Jones che pesavano 3468 chilogrammi, il che darebbe sempre per il peso di ciascun soldato 68 chilogrammi.
Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Su questo ponte passò un pezzo d'artiglieria col cassone trascinato da 22 uomini, e questo carico era in totale di chilogrammi 3105. Alcuni cavalli, fra i quali uno assai irrequieto, passarono su questo ponte montati dai loro cavalieri, e la prova fu grave in quanto le tavole sottili s'inflettevano sotto i loro passi.
Ciascuna catena era della spessezza di una sola lamina. Il palco del ponte non fu fatto colle solite tavole ghindate ma in un modo speciale, cioè con 166 paletti o palicciuoli flessibili, i quali furono intrecciati colle lamine come un graticcio. Oltre della grande leggerezza questa intessitura dava maggiore attrito al piede del soldato, come appunto fanno i cordoli sulle rampe.
Ciascuna catena era formata con 4 lamine sovrapposte. Con uomini più pratici, dice il Jones, questo ponte potevasi gittare in 20 minuti.
Le catene avevano alternativamente una la spessezza di una lamina e l'altra di due lamine. Le lamine delle catene semplici erano unite coi soli bottoni, e nelle lamine doppie l'unione era rafforzata con sottili chiavarde. Invece del tavolato si adoprarono i soliti paletti dei gabbioni intrecciati. Questo ponte fu adoperato dal pubblico e dal genio militare per parecchie settimane senza mai soffrir danno. Le persone vi passavano per uno, come richiedeva la larghezza del ponte, e a 12 per volta.

Formole generali per la resistenza dei ponti militari del Jones.

§ 2. Sia A I B (fig. 6) la catenaria formata da uno dei ponti del Jones, i cui estremi A e B siano fissati allo stesso livello. Supponendo la catenaria uniformemente caricata, chiamiamo:

T la tensione dell'ultimo elemento in A, la quale si esercita secondo la tangente A t;

p il peso intrinseco della catenaria A I B;

P il peso uniformemente diffuso su tutta la lunghezza della catenaria;

δ l'angolo di declinazione dalla verticale della tangente alla curva in A;

l la corda A I;

f la saetta I F.

Abbiamo dalla meccanica che la massima tensione della catenaria, ossia quella degli estremi elementi in A ed in B, ha per valore

$$T = \frac{P + p}{2 \cos \delta}.$$

E quando la saetta I F è molto piccola rispetto alla oorda A B, come nel caso dei ponti a catenaria, allora potendosi ritenere senza errore sensibile come valore di $\cos \delta$

$$\cos \delta = \frac{f}{\sqrt{f^2 + \frac{l^2}{4}}}$$

la precedente formola diviene

$$T = \frac{P + p}{2} \sqrt{1 + \frac{l^2}{4 f^2}} \qquad (a)$$

donde si trae

$$P = \frac{2 T}{\sqrt{1 + \frac{l^2}{4 f^2}}} - p \, . \qquad (b)$$

Le equazioni (*a*) e (*b*) sono quelle di cui ci serviremo per applicare il calcolo ai ponti del Jones.

E qui giova osservare che per un ponte di data luce, raddoppiando, triplicando ecc. il numero delle catene e facendo rimanere tutti gli altri elementi gli stessi, da una parte il valore della tensione T che il ponte potrà sopportare diverrà doppio, triplo, ecc., e d'altra parte il valore di p crescerà meno rapidamente, perchè il peso del tavolato rimane sempre lo stesso e non aumenta che il solo peso delle catene. Adunque il carico P che potrà sopportare un ponte a catenaria di data luce e di costante saetta crescerà un po' più rapidamente di quello che cresce il numero delle catene del ponte.

Unioni delle lamine consecutive fra loro.

§ 3. L'unione delle lamine consecutive si fa nel modo seguente. I bottoni *b*, che fanno corpo con la lamina A B (fig. 3) s'insinuano nei fori *b* della lamina C D, i quali terminano con piccole fenditure rettilinee contro gli estremi delle quali vanno ad urtare

i bottoni quando le lamine si tengono tese. In tale positura accade che i fori della lamina A B, contrassegnati coi numeri 1 e 2, rispondono precisamente sotto i fori contrassegnati cogli stessi numeri sulla lamina C D: per questi fori si fanno passare delle piccole chiavarde che si stringono con i soliti dadi a vite. Così ciascuna lamina viene ad essere unita alla seguente da due chiavarde e da due bottoni. Questi hanno il diametro di mezzo pollice inglese, ossia millimetri 12, 7; e, come vedremo chiaramente in seguito, presentano la giusta resistenza proporzionata a quella delle lamine. Cosicchè le chiavarde non si debbono considerare se non come aggiunte ai bottoni soltanto per una maggior cautela, e forse perchè coi soli bottoni le unioni sarebbero state poco stabili.

§ 4. Senza voler discutere l'opportunità di aggiungere o no le chiavarde ai bottoni, proponiamoci determinare rigorosamente il diametro che dovrebbero avere i bottoni o le chiavarde nel caso in cui a due soli di essi, posti in una fila, si volesse affidare la stabilità delle unioni delle lamine consecutive. Immaginiamo adunque le due lamine A e B (fig. 4) unite insieme l'una dopo l'altra per semplice sovrapposizione con due sole chiavarde. È noto che in tal caso due sono le resistenze alla rottura per trazione da doversi considerare:

1ª La resistenza allo scorrimento di una delle superficie a contatto sull'altra.

2ª La resistenza delle chiavarde al taglio trasversale (*cisaillement*).

La prima resistenza non ha in verità un valore significante se non quando si tratta di grossi chiodi ribaditi e posti a caldo, perchè essi nel raffreddarsi

si accorciano e fanno sì che le lamine rimangano fortemente premute l'una contro l'altra; donde il fortissimo attrito fra le superficie a contatto. Ma nel caso nostro, in cui le chiavarde non sono poste certamente a caldo, ma sono strette da semplici dadi a vite, non si può contare per nulla sulla resistenza d'attrito fra la lamine, ma unicamente sulla resistenza delle chiavarde al taglio trasversale. Per conseguenza, affinchè le unioni abbiano la necessaria resistenza, basterà dare alle chiavarde un diametro tale che quelle di una stessa unione presentino tutte insieme una resistenza al taglio trasversale uguale alla resistenza allo strappamento che presenta la lamina nel luogo della perforazione. In generale chiamando:

r il raggio delle chiavarde;

n il numero delle chiavarde che entrano in una unione;

l la larghezza costante della lamina;

g la sua grossezza costante, sarà

$$n \pi r^2$$

la somma delle sezioni trasversali delle chiavarde; e

$$l - 2 r n$$

la larghezza del pieno della sezione fatta nella lamina con un piano passante per gli assi dei fori ove vanno le chiavarde. Cosicchè la sezione pericolosa di ciascuna catena, che è quella su cui devesi contare, sarà

$$(l - 2 r n) g .$$

Ciò premesso notiamo che la resistenza del ferro alla trazione nel senso delle fibre e la resistenza al

taglio trasversale sono poco diverse fra loro per una stessa qualità di ferro; perocchè le più recenti esperienze inducono ad ammettere che la resistenza al taglio trasversale sia, sotto una medesima sezione, i 4|5 di quella per trazione nel senso delle fibre (1). Dunque, affinchè le chiavarde presentino al taglio trasversale la stessa resistenza che la lamina oppone alla trazione, dovrà essere la somma delle sezioni trasversali di quelle uguale ai 5|4, ossia 1, 25, della sezione della lamiera nel luogo della perforazione. Laonde il diametro da assegnarsi alle chiavarde sarà dato dall'equazione

$$n \pi r^2 = 1,25\,(l - 2\,r\,n)\,g\,. \qquad (c)$$

Soddisfatta questa equazione, avremo che tanto le lamine, nella sezione pericolosa, quanto le chiavarde saranno cimentate ugualmente, come si fa sempre, anche nella costruzione dei ponti di ferro permanenti (2). Laddove se si desse alle chiavarde un raggio maggiore del valore di r tratto dalla (c), esse acquisterebbero una resistenza esuberante a pura perdita della resistenza delle lamine, di cui i fori diverrebbero più grandi. E per contrario facendo i raggi delle chiavarde più piccoli del valore di r dato dalla (c), queste per un dato carico sarebbero più cimentate della lamiera e potrebbero rompersi. È ben vero che la forza f (fig. 4), che tende a separare la lamiera A dalla B, esercitando la sua azione direttamente contro

---

(1) Curioni. *Resistenza dei materiali.* Torino, 2ª edizione, pag. 126.

(2) Molinos e Pronnier. *Traîté de la construction des ponts métalliques*, pag. 125-126.

i contorni dei fori a contatto con le chiavarde, fa sì che le fibre della lamiera più vicine ai fori sieno più tormentate: ma siccome non è mai a temersi il laceramento della lamiera nel senso della lunghezza, così è chiaro che finchè non si saranno totalmente rotti i tratti pieni s, s', s'', della lamiera A, questa non potrà mai separarsi dalla B. Onde, per non inviluparsi in questioni astruse, si ammette dagli autori che lo sforzo di trazione si ripartisca uniformemente tra le fibre delle parti piene s, s', s'' di ciascuna unione; donde segue che la resistenza della lamiera nel luogo della perforazione è proporzionale ad $s + s' + s''$.

§ 5. Supponiamo che si tratti di unire con 2 chiavarde in una sola fila due catene consecutive composte ciascuna di 4 lamine sovrapposte come quelle del Jones, le quali hanno, come si è detto, $0^m 08$ di larghezza e $0^m 001$ di grossezza. Avremo

$$n = 2\,;\ g = 0,004\,,\ l = 0,08\,;$$

quindi l'equazione (c) diverrà

$$6,282\, r^2 = 1,25\, (0,08 - 4\, r) \times 0,004\,;$$

donde si trae

$$r = 0^m 00655\,.$$

Adunque il diametro di ciascuna chiavarda dovrà essere di 13 millimetri; cosicchè per calcolare la tensione che può sopportare la proposta catena si deve contare sulla larghezza di

$$80 - 26 = 54 \text{ millim.};$$

quindi la sezione pericolosa sarà:

$$54 \times 4 = 216 \text{ mill. quadrati.}$$

§ 6. Supponiamo ora di volere unire per sovrapposizione, con due chiavarde, in una sola fila, due lamine semplici del Jones, avremo:

$$n = 2 \; ; \; g = 0,001 \; ; \; l = 0,08 \; ;$$

quindi l'equazione (*c*) diverrà:

$$6,282 \, r^2 = 1,25 \, (0,08 - 4 \, r) \times 0,001 \; ,$$

donde si trae:

$$r = 0^m \, 0036 \; .$$

Adunque il diametro di ciascuna chiavarda dovrà essere di millim. 7, 2.

E la sezione pericolosa della lamina-catena sarebbe:

$$(80 - 14,4) \times 1 = 65,6 \text{ mill. quadrati.}$$

§ 7. Supponiamo ora di voler fare l'unione in una altra guisa, cioè con un doppio ordine di chiavarde (fig. 5) poste a scacchiera, in modo che gli assi di due chiavarde successive *a* e *b* di una stessa fila e l'asse della chiavarda intermedia dell'altra fila stiano, secondo le buone regole, sui vertici di un triangolo equilatero. Ammettendo, come si suol fare dagli autori, che lo sforzo di trazione si ripartisca uniformemente fra tutte le chiavarde di entrambe le file, è chiaro che nel caso generale, se n è il numero *totale* delle chiavarde disposte su due file, sarà come innanzi la somma delle loro sezioni cimentate alla rottura per taglio trasversale

$$n \pi r^2$$

e la sezione pericolosa della lamiera (cioè quella la cui larghezza è $s + s' + s''$, fig. 5), sarà:

$$(l - {}^1/_2\, n \times 2\, r)\, g$$

ossia

$$(l - n\, r)\, g:$$

quindi per determinare r avremo l'equazione

$$n\, \pi\, r^2 = 1,25\, (l - n\, r)\, g\,. \qquad (d)$$

§ 8. Nel caso di due catene formate ciascuna con 4 lamine sovrapposte come quelle del Jones e unite con una doppia fila di chiavarde, come indica la fig. 5, abbiamo:

$$n = 4 \quad l = 0,08 \quad g = 0,004$$

e l'equazione (d) diverrà

$$4 \times 3,141\, r^2 = 1,25\, (0,08 - 4\, r) \times 0,004$$

donde si ricava:

$$r = 0^m\, 00491$$

valore che ridurremo per semplicità a

$$r = 0^m\, 005\,.$$

Adunque il diametro di ciascuna chiavarda dovrà essere di 10 millimetri.

Cosicchè facendo le unioni con 4 chiavarde a scacchiera su due file, la sezione minima della catena sarà:

$$(80 - 20)\, 4 = 240 \text{ millimetri quadrati.}$$

Il quale risultato, confrontato col valore 216 millimetri quadrati trovato al § 5, dimostra che in parità di circostanze l'unione con due file di chiavarde, come indica la fig. 5, è più vantaggiosa di quella della fig. 4, perchè colla prima unione la sezione pericolosa risulta $\frac{240}{216} = 1,11$ di quella che con due sole chiavarde. Cosicchè s'inferisce che: *le unioni con 4 chiavarde a scacchiera, anzichè con 2 sole in una fila, farebbero aumentare di circa 1/10 la resistenza delle catene del Jones.* Ma non ostante ciò per i ponti militari sarà forse da preferire l'unione con due sole chiavarde, perchè più semplice e perchè richiede minor numero di fori nelle lamine.

§ 9. Dalle cose precedenti segue che per lamine di data larghezza, da unirsi consecutivamente fra di loro per semplice sovrapposizione, il diametro delle chiavarde deve a rigore variare secondo la grossezza delle lamine. Ma trattandosi di ponti militari, la semplicità richiede che si adotti un diametro costante e tale da porre le chiavarde *sempre in buone condizioni*, sia che le lamine si adoperino semplici, sia che la resistenza da dare al ponte obblighi di fare ciascuna catena con vari ordini di lamine sovrapposte. Per lamine come quelle del Jones, di $0^m\,08$ di larghezza, il diametro delle chiavarde non potrà essere al minimo che di 13 millimetri (§ 5), se si vuole che le stesse chiavarde possano servire ugualmente bene per le lamine semplici e per quelle soprapposte sino in quadruplo ordine. Adottando questo diametro costante di 13 millimetri, seguirà che quando le catene sono formate di lamine semplici o sovrapposte in ordine doppio o triplo, vi sarà una esuberanza di resistenza nelle chiavarde rispetto a quella che prescriverebbe la

teoria, cioè quella delle singole catene nel luogo della perforazione: ma le chiavarde di un'unica misura tornano a vantaggio della semplicità del materiale.

E qui giova notare che i bottoni delle lamine del Jones avendo il diametro di millimetri 12, 7, sono con errore trascurabilissimo precisamente come le vorrebbe la teoria; cosicchè basterebbero da se sole a reggere le unioni come si è detto innanzi (§ 3).

Resistenza delle lamine-catene del Jones.

§ 10. In quanto alla resistenza che debbono avere le lamine-catene, ricordiamo che trattandosi di ponti militari temporanei, si può secondo alcuni (1) cimentare il ferro sino alla metà del coefficiente di rottura; coefficiente che oscilla tra 32 e 40 chilog. di trazione per mill. quad., secondo la qualità più o meno buona del metallo. Per la lamiera questo coefficiente si avvicina al limite massimo di 40 chilogr.; anzi potrà bene sorpassarlo nelle lamine sottilissime come quelle del Jones, attesa la benefica azione del maglio e del laminatoio, che tanto conferisce ad aumentare la tenacità delle fibre del metallo.

Ma trattandosi di un sistema nuovo di ponti militari, gioverà andare più cauti appunto per escludere la possibilità del più lontano pericolo e far che si tocchi con mano la sicurezza e la solidità dei ponti del Jones. A tal fine notiamo che insigni autori, avendo riguardo al limite di elasticità del ferro (di là

(1) *Lezioni sui passaggi dei fiumi*. Torino, 1864, pag. 77.

dal quale le qualità del metallo rimangono evidentemente alterate), prescrivono che non si debba mai raggiungere questo limite di elasticità, « *anche nel caso di sforzi temporanei* » (1), onde non si generi nel metallo nessun principio di snervamento. Infatti di là dal limite di elasticità comincia ad essere cimentato lo snervamento del metallo; perocchè gli spostamenti molecolari cagionati dalle forze esterne divengono così grandi da non potersi più le molecole spostate costituire in un novello stato di equilibrio stabile sotto l'azione delle forze stesse. E siccome per il ferro sembra che il limite di elasticità sia di 15 chilogr. per millimetro quadrato, così potremo ritenere come limite ben sicuro il cimentare le lamine non più dei 3|4 della resistenza allo snervamento. Sicchè adotteremo come coefficiente di sicurezza dei ponti a catenaria del Jones

$$15 \times 0,75 = 11,25 \text{ chilogr. per mill. quad.}$$

Questo limite coincide con quello che vorrebbe il Jones, perchè verso la fine della sua Memoria si legge: « il carico di rottura è di circa 28 tonnellate, « e si può quindi caricare senza tema il ponte con « 9 tonnellate. » Ora se riteniamo di 35 chilogr. per millimetro quadrato, il coefficiente medio di rottura per trazione del ferro si ha $35 \times \frac{9}{28} = 11,25$, valore che coincide a capello col coefficiente adottato da noi; il quale del resto, per tener conto dei piccoli urti che il passaggio delle truppe sempre produce sui ponti, per abbondare in cautela e per maggiore

(1) Molinos e Pronnier. Op. cit., pag. 4.

semplicità di calcolo, potrebbe ridursi addirittura alla cifra rotonda di 10 chilogrammi per mill. quadr.

Frattanto essendo i limiti nei quali si suole cimentare il ferro in sbarre nelle costruzioni *permanenti* di 5 a 8 chilogr. per millim. quad., si vede che si può adottare con sicurezza il proposto coefficiente di chilogr. 11, 25 per costruzioni temporanee fatte con lamiere assai sottili. Del resto se in pratica si volessero cimentare meno le lamine, non si dovrebbe fare altro che porre in opera tre o quattro catene di più per un dato ponte; la quale operazione è così facile, che varrà il pregio di sobbarcarvisi talvolta per essere maggiormente certi della solidità del ponte. Anzi è questo il pregio caratteristico del sistema del Jones, cioè di permettere con pochissimo lavoro di più di accrescere quanto si vuole la resistenza dei ponti.

Calcoli relativi ai ponti militari del Jones sperimentati dal genio militare Inglese a Chatam.

§ 11. *Ponte N. 1.* Premesse le cose precedenti, cerchiamo di sottoporre al calcolo la resistenza del ponte contrassegnato nello specchio a pag. 516-17 col **N. 1**, le cui catene, formate con quadruplo ordine di lamine sovrapposte, presentano ciascuna la spessezza di 4 millimetri. Le chiavarde adoperate dal Jones hanno sempre il diametro di $0^{m}\,008$, ma i fori nei quali entrano i bottoni hanno nella loro parte rotonda il diametro di $0^{m}\,127$; per conseguenza la sezione pericolosa di ciascuna catena sarà nel nostro caso di

$$(80 - 25,4)\,4 = 218,4 \text{ millim. quad.}$$

E siccome il ponte ha 8 catene, così la sezione pericolosa totale sarà di $218,4 \times 8 = 1747$ mill. quad.; quindi ritenendo il coefficiente di chilog. 11, 25 per millim. quadr., avremo che il ponte N. 1 potrebbe sopportare con sicurezza la tensione di

$$1747 \times 11,25 = 19654 \text{ chilogr.}$$

Il peso del ponte, come risulta dallo specchio, essendo di $1009 + 1163 = 2172$ chilogr., avremo

$$T = 19654\,, \qquad p = 2172$$

$$l = 19,50 \qquad f = 1,70$$

(ritenendo per valore della saetta del ponte quello che essa prese dopo il transito).

I quali valori sostituiti nella equazione (b) danno subito

$$P = 4688 \text{ chilogrammi.}$$

Questo è dunque il carico uniformemente diffuso che potrebbe sopportare il ponte N. 1 senza essere cimentato che per chilogr. 11, 25 per millim. quad. delle catene. Cosicchè, ritenendo col Jones per il peso medio di un soldato disarmato chilogr. 68, sarà il numero delle persone che potranno stare sicuramente sul ponte $\frac{4688}{68} = 69$, risultato che coincide quasi col numero massimo di soldati che si fecero passare per quattro sul ponte nelle esperienze di Chatam, e che non fu se non di 70, come rilevasi dallo specchio a pag. 516-17. Onde le catene del ponte N. 1 furono cimentate col fatto nelle sperienze di Chatam per circa chilogr. 11, 25 per millim. quadrato.

Frattanto se riteniamo di 90 chilogr. il peso del soldato di fanteria armato, sarà il numero di fanti che potranno transitare simultaneamente sul ponte N. 1 $\frac{4688}{90} = 52$ circa. Cosicchè la fanteria armata potrà passare sul ponte N. 1 in due righe, avvertendo però di serbare la distanza di circa 1 metro tra una fila e l'altra, in guisa che sulla lunghezza di circa 39^m del ponte non vi stiano più di 26 file. Difatti, siccome il fante col sacco occupa nella fila 0^m 50, così avremo che:

Per le 26 file sarà necessaria la lunghezza di	Metri	13
Per i 25 intervalli di 1^m l'uno tra le file . . .	»	25
Totale (che risponde quasi alla lunghezza del ponte)	Metri	38

In quanto alla cavalleria, ritenendo di 590 chilogr. il peso del cavallo con sopra il soldato di cavalleria armato, avremo che i soldati a cavallo che potranno simultaneamente stare sul ponte N. 1 saranno

$$\frac{4688}{590} = 8 \text{ circa}.$$

E siccome il cavallo occupa 3 metri di lunghezza, così i soldati dovranno sfilare a non meno di 2 metri di distanza l'un dall'altro. Difatti abbiamo

Per gli 8 soldati a cavallo in una sola fila	Metri	24
Per i 7 intervalli di 2^m l'uno	»	14
Totale . . .	Metri	38

§ 12. Secondo alcuni (1) è prudente tener conto, nel calcolare la forza da dare ai ponti militari, del caso in cui i soldati, fermandosi inopinatamente su quelli per una ragione qualunque, vengano a trovarsi in alcuni momenti ammassati gli uni contro gli altri. A tal fine si parte dal dato che la fanteria su due righe, quando ciascun soldato abbia il petto contro lo zaino del soldato che gli è avanti, produce per ogni metro corrente la pressione di 125 chilogrammi, sulla quale si fondano i calcoli della resistenza che dovrà avere il ponte. Il ponte N. 1 è ben lontano dal poter resistere con sicurezza a questa pressione, perchè dietro le cose precedenti si vede subito che il carico che esso può sopportare per metro corrente è di soli

$$\frac{4688}{39} = 120 \text{ chilogrammi}.$$

Laonde in pratica sarà duopo o rigorosamente invigilare che la fanteria sfilando sul ponte N. 1 su due righe serbi costantemente non meno di 1 metro di distanza da una fila all'altra, oppure si dovrà debitamente aumentare il numero delle catene del ponte, in guisa da porlo in grado di sfidare anche la pressione massima di 125 chilogrammi per metro corrente che per azzardo potesse in qualche momento prodursi.

Proviamo adunque a ridurre a 25 il numero delle catene del ponte N. 1. Adottando il sistema delle unioni delle lamine successive con due sole chiavarde, si è veduto che quando queste hanno il diametro di 13 millim. sono sufficienti finchè le catene sono for-

(1) Lezioni cit. sul passaggio ecc., pag. 62.

mate di 4 lamine sovrapposte. In tal caso (§ 5) la sezione pericolosa del ponte sarà

$$216 \times 25 = 5400 \text{ millim. quad.}$$

Onde la tensione che esso potrà con sicurezza sopportare sarà di

$$5400 \times 11,25 = 60750 \text{ chilogr.}$$

D'altra parte si ha dallo specchio che le 8 catene del ponte N. 1 pesavano 1009 chilogr.; quindi le 25 catene del nostro ponte peseranno

$$1009 \times \frac{25}{8} = 3153 \text{ chilogr.}$$

E siccome il tavolato rimane lo stesso di quello del ponte N. 1, così avremo

$$T = 60750\,, \quad p = 3153 + 1163 = 4316$$
$$l = 19,50\,, \quad f = 1,70\,;$$

i quali valori sostituiti nell'equazione (*b*) danno

$$P = 16888\,.$$

E questo è il peso uniformemente diffuso che potrà sopportare il ponte; quindi il carico per metro corrente potrà essere:

$$\frac{16888}{39} = 433 \text{ chilogr.}$$

il quale essendo un po' maggiore del carico massimo di 425 chilogr., dimostra che sul ponte N. 1 fatto con

25 catene, potrebbe stare stivata quanto si vuole la fanteria su due righe, senza che le lamine fossero cimentate più dello stabilito coefficiente di 11, 25 chil. per millimetro quadrato.

Del pari il ponte potrebbe servire per il passaggio della cavalleria stivata su due righe, essendo noto che in tal caso questa non produce che la pressione di 400 chil. per metro corrente.

Solo è da notare che se si vuole ad ogni costo premunirsi contro il caso del massimo stivamento della fanteria sul ponte, bisognerà dare delle considerevoli dimensioni ai travi di ritenuta sulle due rive, segnatamente quando trattasi della luce massima di 40^{m}. Dippiù le palafitte dovranno essere solidissimamente infisse nel suolo, il che richiederà delle particolari cure ed un esatto studio del sito ove la riva del fiume sia più salda. Così per la fanteria ammassata sul ponte in due righe abbiamo or ora veduto che deve ritenersi come valor massimo della tensione agli estremi del ponte 60750 chilogr. E però ciascuno dei due travi di ritenuta, in quanto allo sforzo da cui è cimentato, si può considerare come un solido lungo 2^{m} 40 (quant'è la larghezza del ponte) appoggiato ai due estremi e gravato dal peso di 60750 chilogr. uniformemente diffuso sulla sua lunghezza, perchè le 25 catene occupando insieme la larghezza di 2 metri non potrebbero stare in realtà che a qualche centimetro di distanza l'una dall'altra.

Questo enorme peso richiede che si studino dei travi di ritenuta di ferro battuto cilindrici e vuoti, perchè alla forza uniscano la maggiore leggerezza possibile. Infatti nei casi di così forti tensioni non si può più affidarsi ai travi che si potranno avere in campagna, ma è indispensabile prepararli dietro gli opportuni calcoli, e studiar bene il modo di dare alle

palafitte una stabilità proporzianata al grande sforzo cui debbono reggere.

E qui non sarà inutile riflettere che una volta dato ai ponti del Jones la tensione che si vuole per mezzo dei paranchi, e fermati stabilmente i travi di ritenuta coi cunei (§ 1), si può accrescere quanto si vuole la stabilità di questi travi per mezzo di catene attaccate ad essi e sostenute o da altre palafitte situate molto più indietro su ciascuna riva del fiume, o da punti fissi, come grossi alberi, macigni, ecc. Codeste catene, partendo dai punti intermedi del trave, ne romperebbero la tratta in varie parti, e così il trave sarebbe meno cimentato allo spezzamento e più stabile, perchè, oltre delle sue due palafitte, contro le quali appoggiano i suoi estremi, avrebbe altri sostegni intermedi. Queste catene o tiranti si potrebbero fare con le stesse lamine del Jones sovrapposte in più ordini, per dar loro quella resistenza che si vuole, e si potrebbero interrare completamente per lasciar libero il transito sulla riva del fiume.

§ 13. *Ponte N. 2.* Questo ponte fu costruito nello stesso luogo e in modo consimile al precedente, con la stessa saetta, ma con 6 catene e senza ghindare le tavole del tavolato.

Al massimo si fecero stare sul ponte 60 uomini, i quali rappresentavano il peso

$$P = 60 \times 68 = 4080 \text{ chilogr.}$$

Passiamo ora a vedere di quanto furono cimentate in questa asperienza le catene del ponte.

Dallo specchio si ha

$$p = 758 + 1163 = 1921 \; ; \quad l = 19,50 \; ; \quad f = 1,37 \, .$$

Sostituendo questi valori nella equazione (a) si trae

$$T = 21564 \text{ chilogr.}$$

E siccome la sezione pericolosa del ponte N. 2 è (§ 11)

$$218,1 \times 6 = 1310 \text{ millim. quad.}$$

così la tensione sofferta sarà stata per millim. quad. di

$$\frac{21564}{1310} = 16,46 \text{ chilogr.}$$

Adunque nelle esperienze di Chatam i 60 soldati disarmati che si fecero transitare sul ponte N. 2 produssero nelle catene la tensione di chilogrammi 16,46 per mill. quad.; tensione che è bensì nei limiti della stabilità, ma è alquanto maggiore del coefficiente 11,25 adottato in questo scritto.

Ecco intanto il risultato delle esperienze di Chatam, come le riferisce il Jones nella sua Memoria:

« Una sezione di 20 reclute formate per quattro « fece su questo ponte quanto potè per farlo oscil- « lare e per romperlo. Gli uomini si mostrarono in- « stancabili e le oscillazioni furono grandissime perchè « non vi erano le gomene di ancoraggio.

« Una seconda sezione di 40 uomini ed una terza « di 60 passò di poi sul ponte *senza produrre incon- « venienti*. Vi transitò pure un cavallo di artiglieria. « Il collonnello Collinson, che era presente, esternò « il desiderio che i 60 uomini si soffermassero sul « ponte, il che fu eseguito. Ma dopo qualche tempo « sette dei nodi che fermavano i paranchi ai travi di « tensione e due ganci dei paranchi stessi si rup- « pero. Esaminate le catene si trovò che per la scossa « subitanea nata da sì fatta rottura, *cinque lamine di*

« *una delle catene si erano spezzate nel punto ove sono*
« *praticati i fori pel congiungimento.*

« Non essendo stati adoperati i cunei fra il trave
« di ritenuta e i suoi ritti, tutto il peso cimentava
« le funi dei paranchi; onde all'assenza di tali cunei
« è da ascriversi l'incidente che toccò al ponte. Questo
« si era espressamente costruito senza tante cure per
« verificáre se facendo a meno delle consuete pre-
« cauzioni potessero i ponti in discorso servire in cir-
« costanze eccezionali come quelle di una truppa che
« rapidamente debba passare un fiume. »

Questi risultati dell'esperienza non fanno che confermare la teoria; perocchè la prima rottura accadde non nelle catene ma nelle funi dei paranchi, e le catene si ruppero solo dietro la scossa cagionata dalla prima rottura e si ruppero appunto nelle sezioni pericolose cioè in quelle indebolite dalla perforazione.

§ 14. *Ponte N. 3.* Per il ponte N. 3 non troviamo nella Memoria del signor Jones alcun cenno di esperienze eseguite. Questo ponte è precisamente quello la cui fotografia era all'Esposizione di Parigi del 1867 (1), sotto la quale fotografia leggevasi che il peso necessario per rompere il ponte era di chilogrammi 19303. Onde non sarà ozioso il cercare quale coefficiente di rottura per millimetro quadrato risponde a questo peso, per farsi un' idea la più esatta possibile della resistenza dei ponti del Jones e vedere da quali criteri sieno partiti gl'inglesi che sono così famigliari con le costruzioni in ferro.

---

(1) *Rapport de la Commission militaire sur l'Exposition universelle*, del 1867, pag. 158.

Per il ponte N. 3 si ha dallo specchio

$$p = 784 + 1513 = 2297$$
$$l = 15,24 \qquad f = 1,3 .$$

Dippiù ritenendo pel peso di rottura $P = 19303$ e sostituendo questi valori nell'equazione (a) si avrà

$$T = 64152 \text{ chilogrammi.}$$

E siccome la sezione pericolosa del ponte è (§ 11)

$$218,4 \times 8 = 1747 \text{ millim. quadr.,}$$

così il coefficiente di rottura per millimetro quadrato che si sarà adottato per trovare il cennato peso è

$$\frac{64152}{1747} = 36,72 \text{ chil.}$$

Il quale risultato risponde per l'appunto al medio coefficiente di rottura del ferro per trazione nel senso delle fibre (§ 10).

§ 15. Essendoci occupati del carico di rottura del ponte N. 3, passiamo a trovare quello che esso potrebbe sostenere senza essere cimentato che pel solito coefficiente di chilogr. 11,25 per millim. quad., a fine di verificare se il ponte N. 3 può col fatto servire al passaggio delle artiglierie da campagna, come è accennato nel rapporto della Esposizione di Parigi.

Adottando lo stabilito diametro di 13 millimetri per le chiavarde, sarà (§ 5) la sezione pericolosa del ponte

$$216 \times 8 = 1728 \text{ millim. quad.}$$

Adunque ritornando ai dati precedenti avremo:

$$T = 1728 \times 11,25 = 19440$$

$$p = 2297\,, \quad l = 15,24\,, \quad f = 1,3\,.$$

Introducendo questi valori nella equazione (*b*) si ricava P = 4249 chilogr., che è il peso uniformemente diffuso che il ponte N. 3 può con la maggior sicurezza sopportare.

Laonde ritenendo (1):

Che due pariglie bardate coi loro conducenti pesino .	Chilog.	2100
Che ciascun carro d'artiglieria da campagna pesi . . .	»	2200
Totale . . .	Chilog.	4300

vremo che il ponte N. 3 presenta una giusta resistenza per il passaggio delle artiglierie da campagna, solo che si facciano passare i pezzi o i carri uno per volta.

In quanto alla fanteria, computando 90 chilogr. per il peso medio del soldato armato, avremo che la marcia della truppa sul ponte N. 3 dovrebbe regolarsi in modo che non stessero sul ponte più di $\frac{4249}{90} = 47$ soldati per volta. Per conseguenza la truppa potrà sfilare su due righe serbando un intervallo non minore di $0^{m}\,85$ tra una fila e l'altra.

(1) *Lezioni sul passaggio dei fiumi*, pag. 62 e 63.

Difatti le 23 file occupano la lunghezza di	Metri	11, 50
I 22 intervalli di 0^m 85 formano	»	18, 70
Totale, che è quanto la lunghezza del ponte,	Metri	30, 20

Per la cavalleria, ritenendo di 588 chilogr. il peso totale del cavallo col cavaliere armato, si dovrebbe regolare la marcia in modo che non stessero sul ponte più di

$$\frac{4249}{588} = 7 \text{ cavalli per volta.}$$

Per conseguenza i soldati a cavallo potranno sfilare sicurissimamente sul ponte N. 3 in una fila, a intervalli non minori di 1^m 65 l'uno dall'altro. Difatti abbiamo

Per i 7 soldati a cavallo in una sola riga,	Metri	21, 00
Per 6 intervalli di 1^m 65 l'uno . . .	»	9, 90
Totale, quasi quanto è lungo il ponte,	Metri	30, 90

§ 16. Il Jones riporta uno specchio completo di tutto il materiale necessario per un ponte come il N. 3, cioè di 30 metri di corda e della larghezza di 2^m 40 fatto con 8 catene, ciascuna di 4 lamine sovrapposte. Da tale specchio risulta che il peso totale delle 672 lamine, delle 352 chiavarde con le madreviti, del tavolato con tavole spesse 0^m 038 e lunghe ciascuna 2^m 70, dei pezzi laterali, dei paletti di ghindamento, delle travi di tensione, dei paranchi, dei pali di ancoraggio, delle funi, ecc., è di circa 4000 chilogrammi. Cosicchè volendo trasportare tutto questo materiale, in modo che ogni quadrupede non abbia

a trainare un peso maggiore di 500 chilogrammi, basterebbero due carri tirati ciascuno da 4 cavalli. E se si riflette che su di un ponte così fatto possono transitare benissimo, come si è veduto, le artiglierie da campagna purchè i pezzi sfilino uno alla volta; la fanteria su due righe non ammassata ma a distanze aperte non minori di $0^m 85$ tra una fila e l'altra; e la cavalleria per uno a distanze non minori di $1^m 65$ fra un cavallo e l'altro; si vede benissimo che l'impedimento di questi due carri da trasporto darebbe il vantaggio di poter avere in circa 6 ore un ponte di 30 metri di corda per il passaggio delle tre armi.

§ 17. *Ponte N. 4*. Su questo ponte si fecero passare al massimo nelle sperienze di Chatam 56 soldati disarmati, i quali rappresentavano un peso:

$$P = 56 \times 68 = 3808 \text{ chilogr.}$$

Dallo specchio si ha per il ponte N. 4

$$p = 239 + 916 = 1155\,, \quad l = 9,90\,, \quad f = 0,60\,.$$

Sostituendo questi valori nell'equazione (a) si ricava

$$T = 20623\,.$$

E siccome la sezione pericolosa del ponte N. 4 è (§ 11)

$$218, \times 4 = 873 \text{ millim. quad.}$$

così la tensione sofferta sarà stata per millim. quad. di

$$\frac{20623}{873} = 23,62 \text{ chilogr.}$$

Adunque nel ponte N. 4 le lamine sono state cimentate molto al di là del limite di elasticità e del coefficiente di sicurezza di 11, 25 chilogr.; ma sono state cimentate per meno della carica di rottura; ond'è che le catene resistettero benissimo al sopraccarico di 56 soldati. Accadde solo, come dice il Jones, che « sotto quest'ultimo carico il trave di ritenuta di « uno degli estremi del ponte a traverso il fosso si « spezzò. Si vide però che nella traversa di rinforzo « esistevano larghe screpolature. »

§ 18. *Ponte N. 5.* Dice il Jones che questo ponte fu costruito in prosieguo di quello N. 4, cioè riducendo la corda di quest'ultimo da $19^m 80$ a $39^m 60$. Il ponte N. 5 si ruppe sotto il peso di 51 soldati, cioè di $51 \times 68 = 3468$ chilogrammi.

Onde se nell'equazione (*a*) poniamo $P = 3468$, il valore di T che se ne caverà dinoterà la tensione che soffrì il ponte nel momento della rottura.

Dallo specchio si ha

$$p = 506 + 1371 = 1877.$$
$$l = 19,80\ , \quad f = 1,37\ .$$

E fatte le sostituzioni si trova

$$T = 19295 \text{ chilogrammi.}$$

E siccome la sezione pericolosa del ponte N. 5 è la stessa di quella del ponte N. 4, cioè (§ 17) 873 millimetri quad., così lo sforzo per millim. quad. sofferto dalle lamine sarà stato di

$$\frac{19295}{873} = 22,10 \text{ chilogr.}$$

Ora sotto questa tensione non si può ammettere che delle lamine di ferro di buona qualità si debbano rompere; quindi la rottura del ponte dovè accadere per qualche altra ragione. Difatti le catene si spezzarono in quel tratto che aveva servito per il ponte N. 4, tratto che probabilmente aveva sofferto, come dice il Jones, per la scossa prodotta dalla rottura del trave di ritenuta accennata di sopra.

§ 19. *Ponte N. 6.* Su questo ponte si fece passare un cannone da campagna tirato da 22 uomini, il quale carico, secondo il Jones, era del peso complessivo di

$$P = 3105 \text{ chilogr.}$$

Dallo specchio si ha per il ponte N. 6

$$p = 1046 + 1754 = 2800; \quad l = 20,10;$$
$$f = 1,50.$$

Sostituendo questi valori nell'equazione (*a*) si trova

$$T = 20000 \text{ chilogr.}$$

E siccome la sezione pericolosa del ponte N. 6 è la stessa di quella del ponte N. 3, ossia (§ 14) 1747 millimetri quad., così la tensione sofferta dal ponte N. 6 sarà stata di

$$\frac{20000}{1747} = 11,45 \text{ chilogr. per millim. quadr.};$$

il quale risultato dimostra che il cannone coi 22 soldati transitarono sul ponte con la massima sicurezza.

Adunque nelle sperienze di Chatam i ponti N. 1 e N. 6 furono cimentati quasi ugualmente.

§ 20. *Ponte N. 7.* Questo ponte, che è del pari accennato nel Rapporto della Commissione militare dell'Esposizione di Parigi, aveva le catene formate con un solo ordine di lamine, ma nella Memoria del Jones non si parla delle esperienze che vi si eseguirono. Il ponte, per la speciale natura del palco, fatto con semplici stecche di legno intrecciate colle lamine, non può servire che pel solo passaggio della fanteria. Occupiamoci quindi del carico che esso potrebbe sostenere. Adottando le chiavarde del diametro di 13 millimetri, com'è detto al § 9, sarà la larghezza della sezione pericolosa per ciascuna catena

$$80 - 26 = 54 \text{ millimetri.}$$

Ma si hanno 26 catene, ciascuna spessa 1 millim., quindi la sezione pericolosa di tutto il ponte sarà:

$$54 \times 1 \times 26 = 1404 \text{ millim. quad.}$$

Onde la tensione che il ponte potrà con sicurezza sopportare sarà

$$T = 1404 \times 11,25 = 15795 \text{ chilogr.}$$

Dallo specchio si ha

$$l = 15,24 \,, \quad f = 1,30 \,, \quad p = 687 + 100 = 787 \,;$$

i quali valori sostituiti nella equazione (b) danno

$$P = 4531 \,.$$

E questo sarebbe il peso uniformemente diffuso che il ponte può con sicurezza sopportare. Adunque, come innanzi avremo che sul ponte N. 7 potrebbero stare con sicurezza simultaneamente $\frac{4531}{90} = 50$ soldati; quindi il passaggio della truppa potrebbe farsi su due righe, serbando un intervallo non minore di 0^m 75 da una fila all'altra.

Difatti abbiamo:

Per le 25 file di soldati su due righe	Metri	12, 50
Per i 24 intervalli di 0^m 75 l'uno .	»	18, 00
Totale	Metri	30, 50

§ 21. Se si volesse porre il ponte N. 7 in grado di resistere al massimo carico della fanteria stivata su di esso su due righe, cioè 425 chilogr. per metro corrente, allora basterà osservare che il peso per metro corrente che può sopportare il ponte N. 7 come fu costruito è, dietro i calcoli precedenti,

$$\frac{4531}{31} = 146 \text{ chilogr.}$$

valore che è circa la terza parte del numero 425; dunque per lo scopo di cui trattasi basterà triplicare la resistenza del ponte, cioè fare ciascuna catena con un triplo ordine di lamine sovrapposte, perchè allora saremo certi che la resistenza crescerà un po' più del triplo (§ 2) una volta che l'intessitura che tien luogo del palco del ponte rimane la stessa. Ma anche qui è da notare, come si è detto (§ 12) che per il forte

carico di 125 chilogrammi per metro corrente è duopo calcolare giustamente la resistenza che dovranno opporre le travi di ritenuta del ponte.

§ 22. *Ponte N. 8*. Non si rileva dalla Memoria del Jones se furono fatte delle esperienze su questo ponte. Onde non potremo fare altro che occuparci del carico che esso potrebbe sopportare quando si volesse cimentarlo per la solita trazione di 11,25 chilogrammi per millim. quad., adottando lo stabilito diametro di 13 millim. delle chiavarde.

Le 6 catene di questo ponte essendo formate di 4 lamine sovrapposte, sarà la sezione pericolosa totale

$$(80 - 26) \times 4 \times 6 = 1296 \text{ millim. quad.}$$

Onde avremo

$$T = 1296 \times 11,25 = 14580.$$

Dallo specchio si ha inoltre

$$p = 308 \times 757 = 1065, \quad l = 7,00, \quad f = 0,45.$$

Sostituiti questi valori nella equazione (b) avremo

$$P = 2654.$$

E questo è il peso uniformemente diffuso che può sopportare con sicurezza il ponte N. 8; quindi i soldati armati che potranno stare simultaneamente sul ponte saranno

$$\frac{2654}{90} = 29$$

cioè potranno sfilare su due righe serbando la distanza di soli $0^{m}50$ fra una fila e l'altra. Difatti si ha

Per le 14 file	metri	7,00
Per i 13 intervalli di $0^{m}50$ l'uno .	»	6,50
Totale (presso a poco quanto la lunghezza del ponte)	metri	13,50

Del rimanente notiamo che il peso per metro corrente che il ponte N. 8 può sopportare è $\frac{2654}{14} = 189$; quindi se portiamo a 14 le catene, cioè se aumentiamo di 8/6 il loro numero; è chiaro (§ 2) che il peso per metro corrente che il ponte potrà sorreggere con sicurezza sarà alquanto maggiore di $189 + \frac{8}{6} 189 = 441$, il quale numero essendo un po' più grande del massimo carico di 425 chilogrammi per metro corrente, dimostra che con 14 catene il ponte N. 8 potrebbe resistere al carico della fanteria stivata su di esso in due righe.

§ 23. *Ponte N. 9.* Questo ponte presenta la particolarità che le catene non sono tutte della stessa grossezza ma sono alternativamente di due lamine sovrapposte e di una sola lamina. Narra il Jones che questo ponte servì al pubblico e al genio militare per parecchie settimane senza soffrire menomamente, ma che le persone vi passavano 12 per volta.

Per trovare col calcolo lo sforzo a cui fu cimentato il ponte dovremo ammettere che la trazione si ripartisca egualmente su tutti i punti di ciascuna sezione trasversale del ponte. Adunque riflettendo che il diametro dei bottoni è di $0^{m}0125$, avremo secondo

il solito che la larghezza della sezione pericolosa di ciascuna catena sarà:

$$80 - 25 = 55 \text{ millimetri.}$$

Di queste catene 5 avendo la grossezza di un millimetro presentano la sezione di

$55 \times 1 \times 5 =$ 275 mill. quad.

Le altre cinque catene essendo formate ciascuna di 2 lamine, presentano una sezione doppia, cioè . 550 »

Totale . . . 825 mill. quad.

Dallo specchio si ha

$$p = 225 + 32 = 257, \quad l = 9, 90 .$$

La freccia di questo ponte non è indicata dal Jones; quindi assumeremo lo stesso valore della freccia del ponte N. 4 che ha la stessa corda, e faremo

$$f = 0, 60 .$$

Dippiù notiamo che le 12 persone che transitarono sul ponte rappresentano il peso

$$P = 68 \times 12 = 816 \text{ chilogr.}$$

Sostituiti questi valori nella (a) avremo

$$T - 4458 \text{ chilogr.}$$

Ma si è trovato che la sezione pericolosa di questo ponte è di 825 millim. quad.; dunque lo sforzo che esso avrà sofferto per millim. quadrato sarà stato di

$$\frac{4458}{825} = 5,40 \text{ chilogr.}$$

Questo valore essendo meno della metà dell'assunto coefficiente di sicurezza di chilogr. 11, 25, dimostra che il ponte N. 9 era in ottime condizioni, e che le persone potevano passarvi benissimo fino a 24 per volta.

Osservazione sull'unione delle lamine-catene fra di loro.

Se non andiamo errati ci sembra potersi accrescere di molto la resistenza delle successive unioni delle lamine-catene del Jones, applicando la nota proprietà che la resistenza delle chiodature è in ragione diretta del numero delle sezioni trasversali di ciascun chiodo esposte al taglio trasversale. Così trattandosi di quattro lamine sovrapposte, le quali il Jones unirebbe consecutivamente com'è indicato dalla fig. 2 (Tav. 2ª), si noti che la sola sezione $m\ n$ della piccola chiavarda è cimentata al taglio trasversale. Laddove unendo le lamine fra di loro com'è accennato nella fig. 3, non una ma sette sezioni come $m\ n$ dovrebbero rimaner tagliate prima che l'unione potesse dirsi totalmente rotta.

Sembra che in pratica questa maniera di unione, che il semplice raziocinio consiglia, non possa incontrare ostacoli nell'applicazione ai ponti del Jones,

perchè, attesa la flessibilità delle lamine grosse 1 millimetro, accade che nell'unione indicata dalla fig. 3, esse, quando sono tese e gravate dal più piccolo peso, come il semplice tavolato del ponte, finiscono sempre per combaciare fra di loro verso *m* e verso *n* (fig. 4), precisamente come se si fosse adottata l'unione della fig. 5.

Laonde conservando alle chiavarde lo stabilito diametro di 13 millimetri, la disposizione indicata dalla fig. 4 darebbe alle unioni una resistenza considerevolmente maggiore di quella che abbiamo calcolato innanzi.

Conclusione.

I ponti del Jones che il Ministero della guerra britannico, dietro il parere del Comitato del genio, ha adottato per l'esercito potranno tornare in molti casi di grandissima utilità in guerra, massime alle piccole colonne che debbano eseguire dei rapidi movimenti in terreni attraversati da corsi d'acqua. La teoria così semplice di questi ponti e la facilità di avere oggidì delle ottime lamine di ferro e d'istituire durante la pace delle sperienze preliminari sulla loro resistenza e sulla fermezza delle loro unioni, renderanno agevole il formarsi un criterio esatto del grado straordinario di resistenza di cui sono capaci i ponti del Jones. Dei quali non ultimo pregio è quello di trovarsi la tensione prodotta dai sopraccarichi ripartita tra varie catene le une indipendenti dalle altre, cosicchè la rottura fortuita di una di esse non potrà mai trascinare seco la rovina del ponte. Oltre di che l'adoprare il ferro in lamine molto sottili senza cimentarlo

che per 10 o 11 chilogrammi per millimetro quadrato deve inspirare al certo maggior fiducia che se si trattasse di catene ordinarie o di ferro in sbarre. I quali vantaggi uniti alla leggerezza del sistema fanno credere che esso si potrebbe anche applicare ai ponti di servizio assai alti che spesso occorre fare nelle vaste costruzioni e nei grandi movimenti di terra.

Non neghiamo che i ponti a catenaria in generale hanno anch'essi i loro difetti, dacchè nessun sistema di ponti al mondo potrà mai dirsi perfetto, ma in ogni modo non si deve dimenticare che « avendosi « da attraversare dei profondi burroni le cui scarpe « sieno molto dirupate; dei torrenti impetuosi..... o « avendosi da ristabilire il passaggio su qualche arco « minato di un ponte assai alto, i ponti sospesi rie- « scono grandemente utili e forse i migliori. Dappoichè « le lunghe travi armate che si dovrebbero impiegare « in questi casi sono certo difficili a collocarsi spe- « ditamente in opera a causa del loro peso; laddove « il carattere distintivo dei ponti sospesi è appunto « quella leggerezza tanto desiderabile nei materiali « da guerra ».